



УДК 621.313

**АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПАКЕТА ANSYS MAXWELL RMXprt ПРИ КУРСОВОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
СТУДЕНТАМИ НАПРАВЛЕНИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА» ПО ПРОФИЛЮ
«ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА» КВАЛИФИКАЦИЕЙ
«БАКАЛАВР»**

**ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF USING
“ANSYS MAXWELL RMXprt” PROGRAMM AT THE
COURSE DESIGN OF ASYNCHRONOUS MOTORS BY
STUDENTS OF "POWER AND ELECTRICAL
ENGINEERING" DIRECTION, "ELECHTROMECHANICS"
PROFILE, "BACHELOR" QUALIFICATION**

Берая Роман Константинович, студент четвертого курса, группа ЭН 430301, каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: a.t.plastun@urfu.ru. Тел.: +7(952)725-35-59

Тихонова Ольга Валерьевна, магистрант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: olga_tikhonova_91@mail.ru. Тел.: +7(904)987-89-25

Малыгин Игорь Вячеславович, аспирант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mitrael_1@mail.ru. Тел.: +7(953)601-32-56

Пластун Анатолий Трофимович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.t.plastun@urfu.ru. Тел.: +7(952)725-35-59

Roman K. Beraya, student Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.t.plastun@urfu.ru. Ph.: +7(952)725-35-59

Olga V. Tikhonova, Master student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: olga_tikhonova_91@mail.ru. Ph.: +7(904)987-89-25

Igor V. Malygin, Graduate student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: olga_tikhonova_91@mail.ru. Ph.: +7(953)601-32-56

Anatoliy T. Plastun, Doctor Sc., Prof., Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.t.plastun@urfu.ru. Ph.: +7(952)725-35-59

Аннотация: В статье рассматривается использование бакалавром пакета Ansys Maxwell RMXprt для решения курсовой работы по расчету и проектированию асинхронного двигателя. Рассмотрены основные шаги ввода начальных данных и показаны основные выводы решений. Программа Ansys maxwell позволяет быстро и автоматически построить типовую геометрию машины, используя RMXprt. RMXprt позволяет вносить данные в табличном виде ускоряя процесс и упрощая его. При решении не типовых конструкций возможно использование 3Д проектирования с обычными (пошаговыми) элементами.

Abstract: The article is considered the using of “Ansys Maxwell RMXprt” program by bachelor for course work solutions about the calculation and design of the asynchronous motor. The article are presented basic steps

of entering the initial data and shown the main features of solutions search. “Ansys Maxwell” programm allows students quickly and automatically build a model of the machine geometry with using RMxprt. RMxprt allows to enter data in tabular form, speeding up and simplifying solving process. Using 3D model with the usual (step by step) elements is need for nonclassical machines.

Ключевые слова: “Ansys Maxwell RMxprt”, проектирование, асинхронный двигатель, бакалавр.

Key words: “Ansys Maxwell RMxprt”, designing, asynchronous motor, bachelor.

ВВЕДЕНИЕ

Программа **RMxprt** **"Моделирование вращающихся электрических машин"** входит в состав программного пакета Maxwell наряду с Maxwell 2D и Maxwell 3D.

RMxprt - программа, которая ускоряет процесс проектирования и оптимизации вращающихся электрических машин.

RMxprt использует классическую аналитическую теорию электрических машин и метод эквивалентной магнитной цепи для вычисления рабочих характеристик машины.

На наш взгляд RMxprt актуален в случае, когда нужно смоделировать электрическую машину стандартного типа, для которой методики расчета известны. Эти методики "зашиты" в программу RMxprt. Пользователю требуется только ввести исходные данные: геометрические параметры и свойства материалов статора и ротора, тип обмоток и схему подключения, данные по питанию, по нагрузке, по вентилятору и т.п. Указанные данные бакалавр получает после выполнения им «ручного» расчета по одной из известных методик расчета асинхронных двигателей, например [1].

Поскольку используются стандартные алгоритмы с готовыми формулами (вместо метода конечных элементов, как в Maxwell 2D и 3D), время расчета одного варианта на современном компьютере составляет доли секунд. При этом доступны все средства Maxwell по параметризации и оптимизационному расчету.

Таким образом, данное программное средство позволяет бакалавру существенно ускорить процесс разработки электрической машины стандартной конфигурации.

В случае, если требуемая конфигурация отличается от стандартной, то пользователь может сравнить, какие характеристики может дать при его исходных данных стандартная конфигурация электрической машины.

Также пользователь может создать в RMxprt конфигурацию, наиболее близкую к требуемой, конвертировать модель в задачу Maxwell, где уже будут вноситься все требуемые изменения. Эта

возможность позволяет достичь результата гораздо быстрее, чем проектировать модель заново.

Конвертирование модели RMxprt в модель Maxwell может быть полезно и в том случае, когда для стандартной электрической машины нужно построить картину распределения поля, а также для других операций, для которых требуется полевой расчет.

При этом начиная с версии Maxwell v13 конвертирование модели RMxprt в модель Maxwell 2D или 3D включает в себя не только прорисовку геометрии данной машины, но и создание полноценной модели с типом задачи – «переходной процесс с вращательным движением». После конвертирования можно запустить расчет и наблюдать на графике за углом поворота ротора на каждом временном шаге переходного процесса.

Программа RMxprt поддерживает следующие типы электрических машин:

- трехфазные асинхронные двигатели (Three-phase induction motors);
- однофазные асинхронные двигатели (Single-phase induction motors);
- трехфазные синхронные двигатели и генераторы (Three-phase synchronous motors and generators);
- бесщеточные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами (Brushless permanent-magnet DC motors);
- частотно-регулируемые синхронные двигатели и генераторы (Adjust-speed synchronous motors and generators);
- двигатели постоянного тока с постоянными магнитами (Permanent-magnet DC motors);
- вентильно-индукторные двигатели Switched reluctance motors);
- синхронные двигатели с улучшенными пусковыми свойствами (Line-start permanent-magnet synchronous motors);
- универсальные коллекторные двигатели (Universal motors);
- обычные двигатели и генераторы постоянного тока (General DC motors and generators);
- генераторы переменного тока с когтеобразными полюсами (Claw-pole alternators);
- неявнополюсные синхронные двигатели и генераторы (Non-salient synchronous motors and generators).

Для выбора типа электрической машины необходимо кликнуть на иконку "Insert RMxpert Desing"

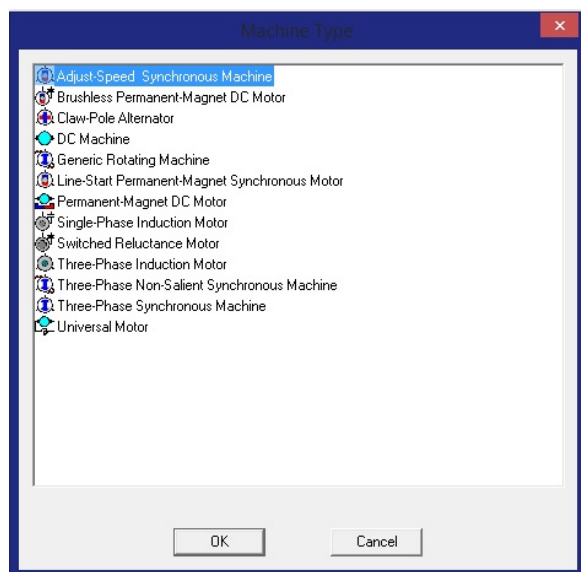


Рис. 1 Выбор типовой машины.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим возможность использования пакета Ansys Maxwell при выполнении курсового проекта студентом, обучающимся по программе бакалавриата по специальности "Электрические машины» и проблемы связанные с применением программы **RMxpert** "Моделирование вращающихся электрических машин".

Чтобы воспользоваться пакетом **RMxpert** при выполнении курсового проекта студент должен выполнить «ручной» расчет по известной методике расчета и получить представление об основных геометрических размерах, конструктивных параметрах и основных зависимостях. Сделать чертеж основного вида рассчитанной электрической машины. Для выполнения этих задач используются такие программные пакеты как MathCAD, КОМПАС, Microsoft Word и др.

Программный пакет Ansys Maxwell позволяет решать задачу различными путями в зависимости от ее параметров. Функция пакета RMxpert позволяет задать только основные геометрические размеры и параметры обмотки, поставить задачу и получить типовое решение. При использовании такого подхода задачу можно перевести в 2D и 3D режим построения. В этих режимах расширяются возможности пользователя. Можно рассматривать картины распределения сил полей в магнитной системе статора и ротора, температуры в отдельных частях двигателя, токи в фазах обмотки статора, выполнить вычисление индукции по

заданному контуру (визуальное отображение параметров, возможность анимации вращения ротора с отображением полей и т.д.).

Автоматическое построение геометрии в типовых задачах задается в табличном виде (см. рис. 2).

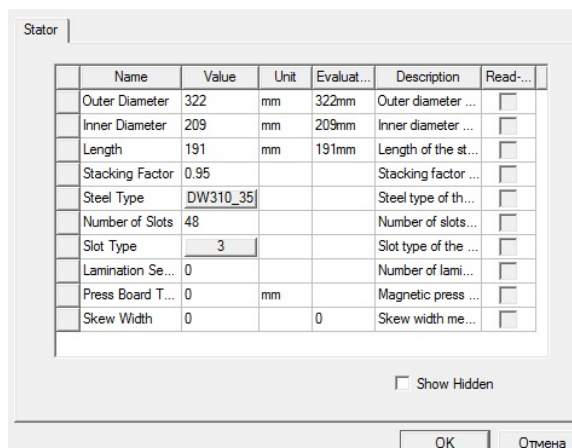


Рис. 2. Пример задания табличных данных

Performance | Design Sheet | Curves

Data: Rated Magnetic Data

	Name	Value	Units	Description
1	Stator-Teeth Flux Density	1.77639	tesla	
2	Rotor-Teeth Flux Density	1.69171	tesla	
3	Stator-Yoke Flux Density	1.36767	tesla	
4	Rotor-Yoke Flux Density	1.35742	tesla	
5	Air-Gap Flux Density	0.72962	tesla	
6	Stator-Teeth Ampere Turns	192.489	A.T.	
7	Rotor-Teeth Ampere Turns	191.178	A.T.	
8	Stator-Yoke Ampere Turns	28.5917	A.T.	
9	Rotor-Yoke Ampere Turns	7.08781	A.T.	
10	Air-Gap Ampere Turns	378.676	A.T.	
11	Stator Yoke Correction Factor	0.521389		
12	Rotor Yoke Correction Factor	0.374264		
13	Teeth Saturation Factor	2.01318		
14	Total Saturation Factor	2.1074		
15	Back EMF Factor	0.973928		

Рис. 3. Вывод магнитных параметров.

На рис.3 показаны магнитные параметры расчетной машины, такие как индукция в зубцах, спинке, воздушном зазоре и ампер-витки, приходящиеся на элементы магнитной цепи.

На рис.4 приведены потери в элементах магнитной цепи, КПД, коэффициент мощности, момент на валу, частота вращения вала при номинальной нагрузке.

Performance Design Sheet Curves				
Data: Rated Performance				
	Name	Value	Units	Description
1	Stator Ohmic Loss	53.4032	W	
2	Rotor Ohmic Loss	414.68	W	
3	Iron-Core Loss	294.536	W	
4	Frictional and Windage Loss	429.725	W	
5	Stray Loss	0	W	
6	Total Loss	1192.34	W	
7	Output Power	31958.2	W	
8	Input Power	33150.6	W	
9	Efficiency	96.4032	%	
10	Power Factor	0.867155		
11	Rated Torque	206.057	NewtonMeter	
12	Rated Speed	1481.04	rpm	
13	Rated Slip	0.0126417		

Рис. 4. Вывод номинальных данных

На рис. 5 приведен график изменения электромагнитного момента на валу в функции частоты вращения ротора.

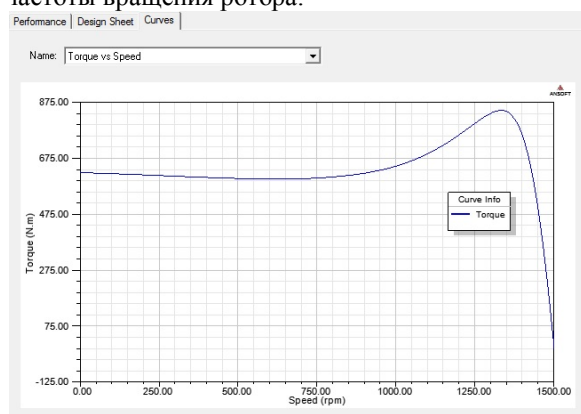


Рис. 5. График изменения электромагнитного момента на валу в функции частоты вращения ротора

На рис. 6 приведен график изменения тока фазы в первый момент пуска асинхронного двигателя.

Как видно из рис.6 расчет мгновенных значений токов в фазе выполнен с учетом аperiodической составляющей тока в фазе.

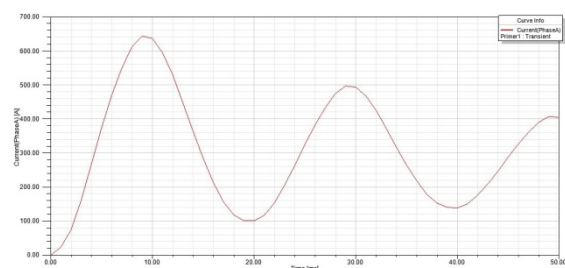


Рис. 6. График изменения тока фазы в первый момент пуска асинхронного двигателя

Программный продукт позволяет вывести другие характеристики, например: картину распределения вектора магнитной индукции в магнитной цепи (см. рис.7), что позволяет студенту наглядно увидеть наиболее нагруженные в магнитном отношении места в элементах магнитной цепи.

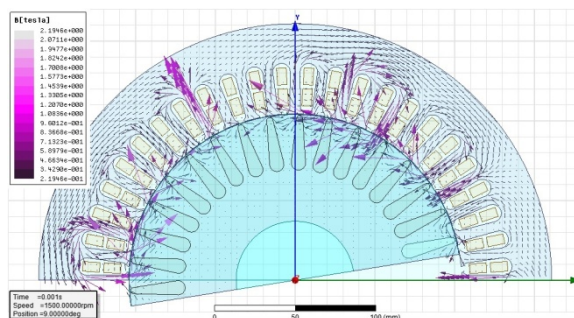


Рис. 7. Картина распределения вектора магнитной индукции в магнитной цепи.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведения расчетов во всех трех разделах пакета Ansys Maxwell можно сделать следующий вывод: без увеличения отведенного учебным планом часов на выполнение курсового проекта и без дополнительной теоретической подготовки по использованию пакета Ansys Maxwell выполнение третьего этапа всеми студентами группы на наш взгляд является проблематичным.
2. При выполнении курсового проекта по направлению «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электромеханика» квалификацией «бакалавр» студентам рекомендуется использовать пакет Maxwell RMexpert.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование электрических машин. Учебное пособие для вузов/И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И. П. Копылова: М.; Энергия, 1980. 496с.,ил.